

Efectos de una sesión de ejercicio físico sobre la actividad neurofisiológica durante la resolución de una prueba de atención selectiva

Effects of a session of physical exercise on the neurophysiological activity during the resolution of a test of selective attention

*Elizabeth Flores Ferro, **Fernando Maureira Cid, ***Hernán Díaz Muñoz, ****Braulio Navarro Aburto, *****Omar Gavotto Nogales, *Alexis Matheu Pérez

* Universidad Bernardo O'Higgins (Chile), ** Universidad Católica Silva Henríquez (Chile), *** Universidad de Santiago (Chile), **** Universidad Autónoma (Chile), ***** Universidad de Sonora (México)

Resumen. *Introducción:* diversos estudios describen manifestaciones motrices y cognitivas con la actividad cerebral registrada en el electroencefalograma, incluso en los últimos años se estudia el cerebro como un sistema dinámico complejo, utilizando matemáticas del caos y análisis fractales. *Material y método:* El objetivo de la presente investigación fue conocer los efectos de 30 minutos de ejercicio físico aeróbico sobre la actividad neurofisiológica cerebral durante la resolución de pruebas de atención selectiva. La muestra estuvo constituida por 14 varones voluntarios (siete experimentales y siete controles). El registro de la actividad cerebral (electroencefalografía) se realizó a través de un dispositivo cerebro-interfaz Emotiv EPOC® mientras los estudiantes resolvían la prueba de Toulouse-Piéron. El registro se realizó antes y después de un trabajo aeróbico de 30 minutos de trote. *Resultados:* se observa un aumento del índice de Hurst en la corteza temporal derecha tras el ejercicio físico y valores similares en la corteza prefrontal y occipital en las mediciones pre y post intervención. Todos los sujetos presentan correlaciones mayores a 0,600 entre la corteza prefrontal, temporal y occipital durante la realización de la prueba de atención, con una leve disminución en el número de correlaciones post-intervención. *Conclusiones:* Existen diferencias en los índices de Hurst de la corteza temporal derecha pre y post-intervención, lo que podría explicar las diferencias en las puntuaciones de la prueba de atención tras el ejercicio físico. La corteza prefrontal y temporal no muestran diferencias. No se encontraron patrones de correlaciones que puedan explicar la mejora de la atención.

Palabras claves: atención selectiva, ejercicio aeróbico, electroencefalografía, sistemas dinámicos, matemática no lineal.

Abstract. *Introduction:* diverse studies describe motor and cognitive manifestations with the cerebral activity registered in the electroencephalogram, even in last years the brain is studied as a dynamic complex system, using mathematics of the chaos and fractal analyses. *Material and method:* The aim of the present investigation was to know the effects of 30 minutes of physical aerobic exercise on the neurophysiological cerebral activity during the resolution of tests of selective attention. The sample was constituted by 14 voluntary males who were dealing the career of pedagogy in physical education, of which seven were assigned aleatoriamente to the experimental group and seven to the group control. The record of the cerebral activity (electroencephalography) realized to slant a device brain-interface Emotiv EPOC® while the students were solving the test of Toulouse-Piéron's selective attention. The record was realized before and after an aerobic work of 30 minutes of trot with an intensity between 60 and 75 % of the cardiac maximum frequency. *Results:* Is observed an increase of Hurst's index in the temporal right cortex after the physical exercise and similar values in the prefrontal and occipital cortex in the measurements pre and post intervention. All the subjects present bigger correlations than 0,600 between the prefrontal, temporary and occipital cortex during the accomplishment of the test of attention, with a slight decrease in the number of correlations post-intervention. *Conclusion:* Differences exist in Hurst's indexes of the temporary right bark pre and post-intervention, which might explain differentiates them in the punctuations of the test of attention after the physical exercise. The bark prefrontal and temporary they do not shows differences. There were not bosses of correlations who could explain the improvement of the attention. **Keywords:** Attention, aerobic exercise, electroencephalography, dynamic system, no lineal mathematics.

Introducción

Existen numerosos estudios que relacionan la práctica de ejercicio físico con mejoras en funciones cerebrales como la atención (Altenburg, Chinapaw & Singh, 2016; De Bruin, van del Zwan & Bögels, 2016; Iulinao, di Cagno, Aquino, Fiorilli, Mignogna, Calcagno, et al. 2015; Rosa, García & Carrillo, 2019; Van het Reve & De Bruin, 2014), la flexibilidad cognitiva (Pluncevic, Manchevska & Bozhinovska, 2010), el control emocional (Chuang, Hung, Huang, Chang & Hung, 2015; Nouchi, Taki, Takeuchi, Hashizume, Nozawa, Sekiguchi, et al. 2012; Reigal & Hernández-Mendo, 2014) y la memoria de trabajo (Hawkes, Manselle & Woollacott, 2014; Liu-Ambrose, Nagamatsu, Graf, Beattie, Ashe y Handy, 2010; O'Malley, 2011; Orozco, Anaya, Vite & García, 2016). Estas situaciones que se han observado incluso tras solo una se-

sión de ejercicio físico (Alves, Tessaro, Teixeira, Murakava, Roschel, Gualano, et al. 2014; Byun, Hyodo, Suwabe, Ochi, Sakairi, Kato, et al. 2014; Hsieh, Chang, Fang & Hung, 2016; Llorens, Sanabria & Huertas, 2015; Nanda, Balde & Manjunatha, 2013; Tine, 2014; Tsukamoto, Suga, Takenaka, Tanaka, Takeuchi, Hamaoka, et al., 2016). En consecuencia, han surgido diferentes teorías de cómo el ejercicio físico mejora las diferentes funciones cognitivas, una de ellas es la explicación de los factores de crecimiento neuronal como el BDNF, C-fos, FMRP, ARC, etc. (Binder & Scharfman, 2004; Cunha, Brambilla & Thomas, 2010; Maureira, 2016a), sin embargo, ninguna de ellas explica en su totalidad como ocurre esta mejora significativa en los sujetos.

Por otra parte, la electroencefalografía (EEG) corresponde a una técnica de estudio de la actividad eléctrica del cerebro a través de electrodos ubicados en el cuero cabelludo (Maureira, 2016b). Este instrumento entrega cinco tipos de ondas cerebrales, las cuales se diferencian por su frecuencia (cantidad de veces que la onda se repite en un segundo) que se mide en Hertz (Hz) y por su amplitud (diferencias entre el

voltaje mínimo y máximo de la onda) que se mide en microvoltios (Talamillo, 2011). Las ondas cerebrales se clasifican en: a) ondas alfa (8-12 Hertz), características de un sujeto despierto, relajado y con los ojos cerrados; b) ondas beta (13-30 Hz), que se producen cuando un sujeto esta despierto realizando trabajos cognitivos y percibiendo los estímulos del ambiente; c) ondas gamma (>30 Hz) característicos de sujetos en estados de meditación profunda; d) ondas theta (3,5 a 8 Hz) que se presentan cuando un sujeto se encuentra en las primeras etapas del sueño (sueño ligero); e) ondas delta (1,5 a 3,5 Hz) que ocurren durante las etapas de sueño profundo (Maureira, 2018).

En la literatura se encuentran varios estudios donde relacionan diversas manifestaciones motrices con la actividad registrada en el EEG. Darocha, de Souza, Spindolab, Vaza, De Oliveira y Geremiad (2016) mostraron diferencias en las ondas gamma de la corteza motora suplementaria y corteza motora primaria, tanto en la visualización como en la imaginación del gesto motor, entre un grupo de bailarinas de ballet profesionales y voleibolistas, concluyendo que los sujetos altamente entrenados presentan diferencias en el procesamiento cortical durante la planificación y control motor. Ludyga, Gronwald y Hottenrott (2016) estudiaron el efecto del ejercicio físico sobre la actividad cerebral en 36 ciclistas, registrando la actividad neuroeléctrica antes y después de las intervenciones. Los ciclistas expuestos a trabajos de alto esfuerzo presentaron reducciones en la potencia de ondas alfa y beta tras el ejercicio, concluyéndose que la actividad de la corteza cerebral es sensible al entrenamiento de alto esfuerzo, lo que podría influir en el aumento de la sensación de fatiga central.

Cantillo, Gutiérrez, Flores, Cariño y Viñas (2014) registraron la actividad cerebral de estudiantes universitarios mientras imaginaban y/o ejecutaban un abrir-cerrar de la mano derecha e izquierda frente a un estímulo. El 55% de los evaluados presentaron desincronización de la banda alfa durante la imaginación del movimiento y se observaron diferencias de las bandas alfa y beta en regiones motoras, temporales y parietales entre géneros. Estos resultados instan a buscar marcadores de la actividad cerebral cuando se imagina o se ejecuta un movimiento. Babiloni, Infarinato, Marzano, Lecobani, Dassù, Soricelli, et al. (2011) mostraron mayor coherencia de las ondas alfa en la región parietal bilateral y central del mismo hemisferio en 12 golfistas cuando realizaban lanzamientos exitosos en comparación con los fallidos. Esto parece indicar que en los golfistas las ondas alfa de la región parietal están relacionadas con el control motor fino.

En los últimos años la señal del EEG ha comenzado a ser estudiada con una visión distinta, basada en la dinámica de sistemas complejos o matemáticas de caos, donde los sistemas son altamente dependientes de las condiciones iniciales, ya que pequeños cambios en el tiempo 1 provocaran enormes cambios o incluso la imposibilidad de predicción de los eventos en el tiempo 2 (Pikovsky, Rosenblum & Kurths, 2001). Entre las herramientas para afrontar las características de los sistemas dinámicos complejos tenemos el exponente de Hurst (H) que corresponde a un indicador del balance orden/caos de la actividad de un sistema durante series temporales (Kale & Butar, 2011). Este índice varía entre 0 y 1, siendo un valor $H=0,5$ un indicador de un comportamiento

totalmente aleatorio y que hace imposible la predicción futura del comportamiento del sistema. Un valor $0,5 < H \leq 1,0$ es un indicador de comportamiento persistente o de memoria de largo plazo del sistema, es decir, a la actividad pasada del sistema le sigue una actividad similar en el futuro. Un valor $0 \geq H < 0,5$ es un indicador de un comportamiento antipersistente o sin memoria de largo plazo, es decir, a la actividad pasada de un sistema le sigue una actividad opuesta en el futuro (Díaz, Maureira & Córdova, 2017).

Siguiendo esta línea de estudios del EEG con matemática no lineal, existen pocos trabajos que estudien actividades cognitivas cerebrales (Díaz, Córdova, Cañete, Palominos, Cifuentes, Sánchez, et al., 2015; Díaz, Córdova, Cañete, Palominos, Cifuentes & Rivas, 2015; Díaz, Maureira, Cohen, Córdova, Palominos, Otárola, et al., 2015; Díaz, Maureira & Córdova, 2018) o manifestaciones motrices (Díaz, et al., 2017; Díaz, Maureira, Flores & Córdova, 2018). La literatura no muestra trabajos que indaguen el efecto del ejercicio físico sobre la actividad eléctrica cerebral durante la resolución de problemas cognitivos, todo desde una mirada de teoría del caos.

Debido a los antecedentes mencionados es que surge el objetivo de la presente investigación: conocer los efectos de 30 minutos de ejercicio físico aeróbico sobre la actividad neurofisiológica cerebral durante la resolución de una prueba de atención selectiva. El estudio se realizó con un enfoque de sistemas dinámicos complejos para establecer la relación del orden/caos en la señal del EEG durante una actividad cognitiva y conocer si esta dinámica es modificada tras la realización de ejercicio físico, como una forma de explicar la mejora observada en la realización de las pruebas neuropsicológicas tras intervenciones de una o varias sesiones de actividad física.

Metodología

Muestra: de tipo no probabilística intencionada, constituida por 14 varones, estudiantes de la carrera de pedagogía en educación física de la Universidad Católica Silva Henríquez de Santiago de Chile. La edad mínima fue de 18 y la máxima de 21 años, con una media de $19,4 \pm 1,3$. Ninguno de los participantes presentaba lesiones o trastornos que le impidieran realizar ejercicio físico, tampoco presentaban alteraciones cognitivas, ni estaban consumiendo medicamentos, ni estaban en tratamiento psicológico, por lo menos un año antes de las evaluaciones. La presente investigación fue aprobada por el comité de ética de la Universidad Católica Silva Henríquez. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado.

Instrumentos: Para el registro EEG se utilizó el dispositivo cerebro-interfaz Emotiv EPOC® con frecuencia de muestreo de 128 Hz. El EEG registra 14 canales a través de electrodos posicionados según el sistema 10/20 (Fig. 1) usando como referencia los electrodos del hueso mastoides. Los datos del EEG fueron procesados con el programa EEGLAB y ADJUST ejecutados en la plataforma MATLAB 2008. Se utilizaron los registros del lóbulo frontal (AF3 y AF4), temporal (T7 y T8) y occipital (O1 y O2). Se analizó el rango de frecuencia de 13 a 30 Hz (onda beta).

Para la evaluación de la atención selectiva se utilizó la

prueba de Toulouse-Piéron, considerada como una de las técnicas más relevantes para evaluar la atención (León-Carrión, 1995). La prueba consta de una matriz de 40 filas x 30 columnas de signos (1200 en total). La finalidad de la prueba es encontrar las figuras que presentan las mismas características que dos figuras modelos que se ubican en la parte superior de la hoja. La corrección final corresponde al Índice Global de Atención y Percepción (IGAP) que se obtiene cuando al total de aciertos (A) se le resta la suma de errores (E) y omisiones (O) $IGAP = A - (E + O)$. La aplicación de la prueba se realizó en forma individual, con una duración de dos minutos para evaluar la atención selectiva y de ocho minutos para evaluar la atención sostenida.

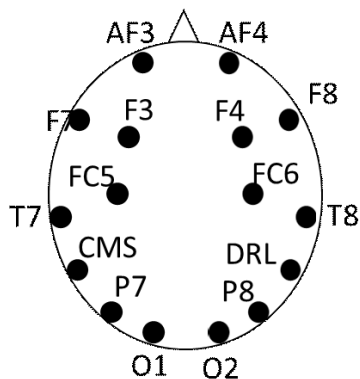


Figura 1. Ubicación de los electrodos del Emotiv EPOC® durante el estudio.

Procedimiento: Siete estudiantes fueron asignados aleatoriamente al grupo experimental y siete al grupo control. Para cada participante se registró su frecuencia cardíaca basal durante cinco minutos recostados en posición decúbito-dorsal en una colchoneta. Posterior a eso se realizará un registro basal de la actividad cerebral con tres minutos de ojos abiertos mirando un objetivo en una pantalla de computador y tres minutos con ojos cerrados. Tras esto el estudiante realizó el test de atención de Toulouse-Piéron mientras se registra su actividad cerebral con el EEG. Con estos datos se asignarán aleatoriamente los sujetos al grupo experimental y control. Todas estas evaluaciones fueron realizadas en el *Laboratorio de Cognición, Ejercicio Físico y Teoría del Caos* de la Universidad Católica Silva Henríquez de Chile.

Una semana después de realizar estos registros, se citó nuevamente a los participantes volviendo a realizar un registro basal de su frecuencia cardíaca y de la actividad cerebral con tres minutos de ojos abiertos mirando un objetivo en una pantalla de computador y tres minutos de ojos cerrados. Luego al grupo experimental se le aplicó un trabajo aeróbico de 30 minutos de trote en un treadmill BHF1 serie F, con una intensidad entre el 60 y 75% de la frecuencia cardíaca máxima del sujeto, la cual se obtuvo con la fórmula de Karvonen: $(FC_{m\acute{a}x} - FC_r) * \% \text{ de trabajo} + FC_r$; donde $FC_{m\acute{a}x}$ es la frecuencia cardíaca máxima y FC_r es la frecuencia cardíaca de reposo (Willmore y Costill, 2004). Esto se controló con un dispositivo pectoral de medición de FC modelo Polar T31-CODED.

Una vez terminada la intervención con ejercicio físico, se esperó a que los participantes volvieran a su frecuencia car-

díaca de reposo (los tiempos oscilaron entre 5 y 7 minutos, sin presentar diferencias significativas $p=0,135$) y se les aplicó nuevamente el test de atención de Toulouse-Piéron. Durante este período se registró nuevamente la actividad cerebral con el EEG.

En la segunda reunión el grupo control realizó nuevamente el test de atención, registrando su actividad cerebral con el EEG.

La diferencia de una semana entre la aplicación de la primera y segunda medición del test de atención y registro de EEG, se sustenta en la curva del olvido de Ebbinghaus (1885, citado en Salisbury, 1990), quien determinó que menos del 10% del contenido experimentado es recordado tras 6-7 días. Esto resulta fundamental en pruebas neuropsicológicas, para que los resultados no sean influenciados por la memorización o aprendizaje de los test.

Todas las mediciones se realizaron durante la mañana (entre 10:00 y 12:00 hrs.). A cada participante se le entregaron indicaciones sobre sueño, consumo de alcohol y bebidas energizantes, para antes de la primera evaluación y durante la semana previa a la segunda evaluación. Todos los participantes presentaban una práctica regular de actividad física igual o menor a 3 horas semanales fuera de sus clases universitarias, de manera de constituir un grupo homogéneo, tanto en la realización de ejercicio físico como en su condición física.

Para el presente estudio se utilizaron los registros de las ondas beta de los dos electrodos prefrontales (AF3 y AF4), de los dos electrodos temporales (T7 y T8) y de los dos electrodos occipitales (O1 y O2).

Plan de análisis de datos: Para el registro y análisis de datos del electroencefalograma se utilizó el programa Matlab con la herramienta EEGlab. Posteriormente se calcularon los índices de Hurst cada un segundo de registro, obteniendo 120 índices de H (la prueba dura 120 segundos) y luego se obtiene el promedio de estos 120 valores. Esto se realizó para cada electrodo de cada sujeto evaluado. Una vez determinadas las medias de los índices H se utilizó el programa estadístico SPSS 24.0 para Windows. Mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) se obtuvieron $p > .05$ en todos los índices H, razón por la cual se procedió a utilizar estadísticas paramétricas. Para comparar la actividad cerebral entre los electrodos del hemisferio derecho e izquierdo se utilizaron pruebas t para muestras independientes. Para comparar la actividad cerebral entre diversas cortezas (prefrontal, temporal, occipital, etc.) se utilizaron ANOVA con pruebas post-hoc de Tukey. Finalmente, para estudiar las relaciones entre diversas regiones cerebrales se utilizaron pruebas de correlación de Pearson. Se consideraron significativos valores $p < .05$.

Resultados

En relación con los puntajes de la prueba de atención selectiva (IGAP) el grupo control no presenta diferencias significativas entre la primera y segunda medición ($X_1=41,0 \pm 11,25$; $X_2=49,6 \pm 14,73$; $p=.063$). En cambio, en el grupo experimental se puede apreciar que existe diferencias significativas entre las mediciones pre y post ejercicio físico ($X_1=38,0 \pm 15,11$; $X_2=57,6 \pm 12,68$; $p=.012$; $d=1,55$).

En la figura 2 se observan las medias de los índices de Hurst para los electrodos prefrontales izquierdos (AF3) y derechos (AF4) de los 14 estudiantes evaluados, donde ninguno presenta diferencias interhemisféricas durante su primera medición. Esta situación se modifica en el sujeto seis del grupo control ($t=-2,162$; $gl=208$; $p=.032$; $d=.07$) y en el sujeto nueve del grupo experimental ($t=-4,834$; $gl=198$; $p=.000$; $d=.13$) durante la segunda medición (post-intervención). En ambos casos se observa un índice H mayor en el hemisferio derecho.

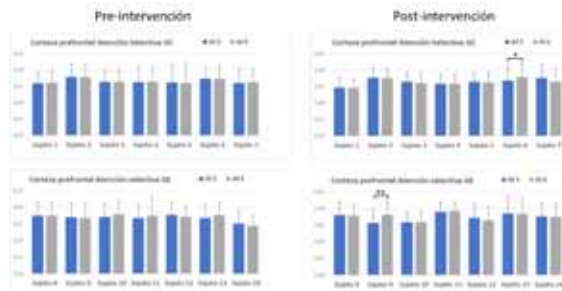


Figura 2. Comparaciones de las medias de los índices de Hurst de la corteza prefrontal de los estudiantes del grupo control (arriba) y experimental (abajo) durante la prueba de atención selectiva en su medición pre y post-intervención.

Las pruebas t para muestras relacionadas comparando las medias de los índices de Hurst de la corteza AF3 y AF4 entre la primera y segunda medición del grupo control, no presentan diferencias significativas. Esta situación también ocurre en el grupo experimental en AF3 ($H \text{ pre}=0,269\pm 0,04$; $H \text{ post}=0,273\pm 0,04$; $p=.566$) y en AF4 ($H \text{ pre}=0,268\pm 0,04$; $H \text{ post}=0,276\pm 0,04$; $p=.277$), esto pese a que el puntaje del test de atención del grupo experimental mejoró significativamente tras el ejercicio.

En la figura 3 se observa que la región temporal presenta diferencias en el sujeto uno ($t=-1,981$; $gl=150$; $p=.049$; $d=.07$) y el sujeto 3 ($t=2,966$; $gl=184$; $p=.003$; $d=.08$) del grupo control, y en el sujeto nueve ($t=8,821$; $gl=196$; $p=.000$; $d=.25$) y en el sujeto 13 ($t=-2,668$; $gl=196$; $p=.008$; $d=.08$) del grupo experimental en su primera medición. En las mediciones post-intervención se aprecian diferencias en el sujeto dos ($t=9,766$; $gl=206$; $p=.000$; $d=.29$) y sujeto seis ($t=-2,025$; $gl=208$; $p=.044$; $d=.05$) del grupo control, y del sujeto ocho ($t=-5,330$; $gl=204$; $p=.000$; $d=.15$) y el sujeto 13 ($t=-2,179$; $gl=186$; $p=.031$; $d=.05$) del grupo experimental.

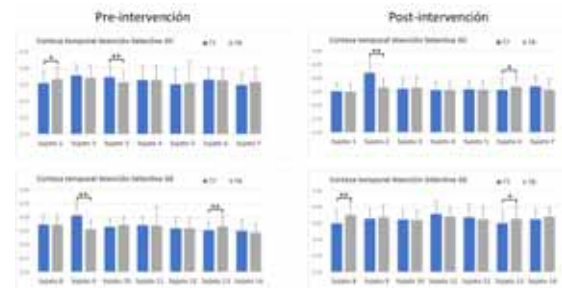


Figura 3. Comparaciones de las medias de los índices de Hurst de la corteza temporal de los estudiantes del grupo control (arriba) y experimental (abajo) durante la prueba de atención selectiva en su medición pre y post-intervención.

Las pruebas t para muestras relacionadas comparando las medias de los índices de Hurst de la corteza T7 y T8 entre la primera y segunda medición del grupo control, no presentan diferencias significativas. En el grupo experimental no se

aprecian modificaciones significativas en T7 ($H \text{ pre}=0,270\pm 0,03$; $H \text{ post}=0,261\pm 0,04$; $p=.318$), pero en T8 existe un aumento en los puntajes H ($H \text{ pre}=0,259\pm 0,03$; $H \text{ post}=0,267\pm 0,04$; $p=.050$; $d=2,00$)

En relación con las asimetrías de la corteza occipital (fig. 4), se observa que la primera medición no presenta diferencias en ninguno de los 14 estudiantes evaluados, con excepción del sujeto 10 ($t=3,012$; $gl=186$; $p=.032$; $d=.07$) y el sujeto 14 ($t=2,576$; $gl=198$; $p=.024$; $d=.08$). En la medición post-intervención el sujeto nueve ($t=2,097$; $gl=198$; $p=.037$; $d=.08$), el sujeto 11 ($t=-6,119$; $gl=104$; $p=.000$; $d=.17$), el sujeto 12 ($t=5,993$; $gl=216$; $p=.000$; $d=.15$) y el sujeto 14 ($t=3,222$; $gl=202$; $p=.001$; $d=.10$) presentan diferencias entre O1 y O2.

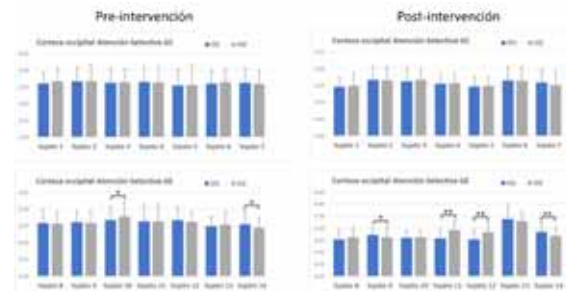


Figura 4. Comparaciones de las medias de los índices de Hurst de la corteza occipitales de los estudiantes del grupo control (arriba) y experimental (abajo) durante la prueba de atención selectiva en su medición pre y post-intervención.

Las pruebas t para muestras relacionadas comparando las medias de los índices de Hurst de la corteza O1 y O2 entre la primera y segunda medición del grupo control, no presentan diferencias significativas. Esta situación también ocurre en el grupo experimental en O1 ($H \text{ pre}=0,258\pm 0,03$; $H \text{ post}=0,274\pm 0,04$; $p=.293$) y en O2 ($H \text{ pre}=0,260\pm 0,03$; $H \text{ post}=0,280\pm 0,04$; $p=.129$), esto pese a que el puntaje del test de atención del grupo experimental mejoró significativamente tras el ejercicio.

La figura 5 y 6 muestran las correlaciones entre los índices de Hurst de los seis electrodos estudiados en las mediciones pre y post-intervención. Aparecen señalados los va-

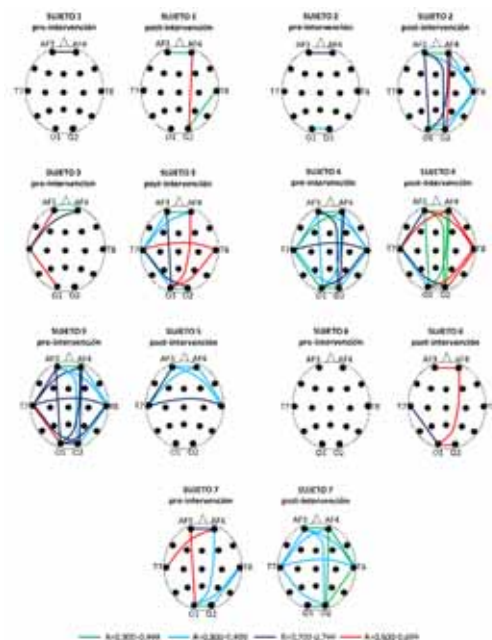


Figura 5. Correlaciones entre la corteza prefrontal, temporal y occipital durante las dos mediciones de la atención selectiva del grupo control.

lores $r > .600$. En el grupo control se puede apreciar que los sujetos uno, dos y seis tienen pocas correlaciones en la primera medición y los sujetos uno y seis la menor cantidad de correlaciones en la segunda medición. En el grupo experimental se puede observar que los sujetos que tienen menos correlaciones pre-intervención son el ocho, nueve, 10, 12 y 13. Al analizarlos post-intervención los que tienen menos correlaciones son el sujeto nueve, 11, 12 y 14.

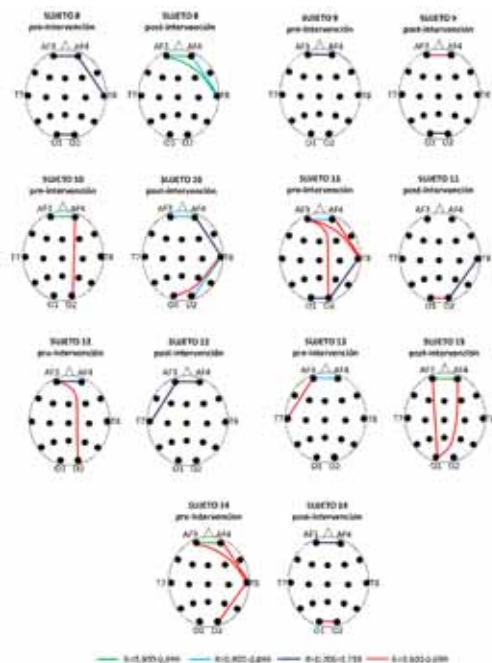


Figura 6. Correlaciones entre la corteza prefrontal, temporal y occipital durante las dos mediciones de la atención selectiva del grupo experimental.

En el grupo control cinco sujetos (71,5%) presentaron aumento en el número de correlaciones entre la primera y segunda medición, en tanto, cuatro sujetos (57,2%) del grupo experimental lo hizo entre la medición pre y post-intervención. Un sujeto del grupo control (14,3%) disminuyó el número de correlaciones entre la primera y segunda medición, en tanto, dos sujetos (28,6%) del grupo experimental lo hizo entre la medición pre y post-intervención. Todas estas diferencias no son significativas ($Z=0,565$ y $Z=-0,662$ respectivamente).

En la tabla 1 se muestra la cantidad de correlaciones sobre 0,600 y los puntajes finales (IGAP) de la prueba de atención selectiva en las mediciones pre y post-intervención. Es posible notar que no existe un patrón entre puntajes IGAP y número de correlaciones en la actividad del EEG.

Tabla 1
Número de correlaciones y puntaje en prueba de atención selectiva pre y post intervención del grupo control y experimental

Grupo	IGAP 1	n° de r pre-intervención	IGAP 2	n° de r post-intervención
Control	Sujeto 1	44	52	3
	Sujeto 2	50	48	10
	Sujeto 3	24	54	10
	Sujeto 4	41	65	14
	Sujeto 5	49	56	6
	Sujeto 6	52	63	4
	Sujeto 7	27	41	11
Experimental	Sujeto 8	48	56	3
	Sujeto 9	54	59	2
	Sujeto 10	28	54	4
	Sujeto 11	52	76	2
	Sujeto 12	46	77	2
	Sujeto 13	10	44	3
	Sujeto 14	38	49	2

r = correlaciones

Discusión

Los resultados de esta investigación revelaron que los índices de Hurst registrados en la corteza prefrontal, temporal y occipital durante la resolución de una prueba de atención selectiva son $H < 0,5$ tanto antes como después de la intervención de 30 minutos de ejercicio aeróbico. Esto indica que el rango de ondas beta (13-30 Hz) posee una actividad antipersistente, es decir, la actividad cerebral en el tiempo 1 (t_1) será opuesta a la actividad en el tiempo 2 (t_2). Esto es coherente con otros estudios que muestran la actividad cerebral durante la resolución de problemas cognitivos (Díaz, Córdova, Cañete, Palominos, Cifuentes, Sánchez, et al., 2015; Díaz, Maureira, Cohen, Córdova, Palominos, Otárola, et al., 2015; Díaz, Maureira y Córdova, 2017; Díaz, Maureira, Flores y Córdova, 2018).

Por otra parte, la mejora en los resultados del test de atención tras la sesión de ejercicio físico es coherente con resultados de investigaciones previas (Altenburg, et al. 2016; Iulinao, et al. 2015; Rosa, et al. 2019; etc.), sin embargo, la literatura no muestra estudios que intenten relacionar dicha mejora con la actividad neurofisiológica caótica. Siendo este trabajo el primero en su tipo.

Una situación llamativa es que los valores H de la corteza prefrontal y occipital no presentan variaciones significativas pre y post-intervención, pese a que los puntajes en el test de Toulouse-Pierón sí mostraron mejoras. Solo la corteza temporal derecha presentó diferencias, aumentando el valor H. Esto último muestra una disminución de la dinámica antipersistente y una mayor tendencia hacia el caos, lo que se presenta como un sistema más eficiente de memoria de trabajo (función cerebral relacionada con la corteza temporal) elemento fundamental en tareas de atención. Esto podría explicar, en parte, la mejora en la ejecución de la prueba de atención tras el ejercicio físico.

Por otra parte, las correlaciones de la actividad orden/caos en el cerebro muestran que durante una tarea mental se produce una desincronización global del cerebro para asignar recursos de procesamientos más específicos para resolver la tarea impuesta (Díaz, Maureira, Córdova, y Palominos, 2017). Esto explicaría el bajo número de correlaciones significativas encontradas en este estudio durante la resolución de la prueba de atención antes y después del ejercicio físico. También se observa que cada sujeto tuvo variaciones en el número de correlaciones en cada medición, es decir, la actividad cerebral durante el test fue diferente cada vez existiendo correlaciones en diferentes intensidades. Además, es interesante mencionar que no se aprecia una relación entre número de correlaciones y nivel de desempeño en la prueba atencional, ya que sujetos con bajo o alto número de correlaciones obtienen puntajes altos, y sujetos con bajo o alto número de correlaciones obtienen puntajes bajos de atención. El ejercicio físico aplicado no parece incidir en un aumento o disminución del número de correlaciones de diferentes regiones cerebrales y el presente estudio no encontró patrones de actividad relacionada que pudiesen dar cuenta de un mejor desempeño cognitivo, tanto entre individuos, como antes y después de la aplicación de 30 minutos de trabajo aeróbico.

Conclusión

Los resultados parecen indicar que las estrategias cerebrales utilizadas para la resolución de un problema cognitivo varían enormemente entre sujetos, incluso la asociación de diferentes regiones cerebrales parece variar dentro del mismo sujeto cuando resuelve un test de atención en diferentes ocasiones. También parece ser que la actividad orden/caos de dinámica cerebral se mantiene similar tras la aplicación de ejercicio físico, pese a la mejora en los puntajes de la prueba de atención, existiendo solo variaciones en la corteza temporal, una región importante en el procesamiento de la memoria de trabajo, el cual podría ser el responsable en la mejora de ejecución de la prueba. El ejercicio físico parece no tener una incidencia en patrones de correlaciones de diferentes regiones cerebrales, lo cual constituya un marcador de mejora de desempeño cognitivo.

Son necesarias más investigaciones profundizando en la actividad cerebral durante la realización de pruebas cognitivas (atención, memoria, planificación, control de impulsos, etc.), ampliando la muestra utilizada y los rangos etarios evaluados, también es necesario realizar este tipo de trabajos en muestras de sexo femenino, ya que la literatura indica que la actividad neurofisiológica es muy diferente a de los varones (Portnova & Atanov, 2016), por ende los resultados podrían ser diferentes a lo que se encontró en esta investigación. Finalmente sería interesante realizar el estudio con otras intensidades de ejercicio físico, para ver si modificando el tipo de intervención existen resultados similares en la actividad eléctrica cerebral.

Referencias

- Altenburg, T., Chinapaw, M. & Singh, A. (2016). Effects of one versus two bouts of moderate intensity physical activity on selective attention during a school morning in Dutch primary schoolchildren: A randomized controlled trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(10), 820-824.
- Alves, C., Tessaro, V., Teixeira, L., Murakava, K., Roschel, H., Gualano, B., et al. (2014). Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 118(1), 63-72.
- Babiloni, C., Infarinato, F., Marzano, N., Lacobani, M., Dassù, F., Soricelli, A., et al. (2011). Intra-hemispheric functional coupling of alpha rhythms is related to golfer's performance: A coherence EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 82(3), 260-268.
- Binder, D. & Scharfman, H. (2004). Brain-derived neurotrophic factor. *Growth Factors*, 22, 123-131.
- Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Ochi, G., Sakairi, Y., Kato, M., et al. (2014). Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. *Neuroimage*, 98, 336-345.
- Cantillo, J., Gutiérrez, J., Flores, T., Cariño, R. & Viñas, D. (2014). Caracterización de la actividad eléctrica cerebral relacionada con la imaginación del movimiento de la mano en sujetos sanos. *Revista de Investigación Clínica*, 66(Extra 1), 111-121.
- Chuang, L., Hung, H., Huang, C., Chang, Y. & Hung, T. (2015). A 3-month intervention of Dance Dance Revolution improves interference control in elderly females: a preliminary investigation. *Exp Brain Res*, 233(4), 1181-1188.
- Cunha, C., Brambilla, R. & Thomas, K. (2010). A simple role for BDNF in learning and memory? *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 3(1), 1-14.
- Darocho, C., De Souza, R., Spindolab, M., Vaza, M., De Oliveira, L. y Geremiad, J. (2016). Bailarinas x voleibolistas: efeito de diferentes treinamentos motores sobre o sinal eletroencefalográfico. *Rev. Bras. Ciênc. Esporte*, 38(4), 384-391.
- De Bruin, E., van del Zwan, J. & Bögels, S. (2016). A RCT comparing daily mindfulness meditations, biofeedback exercises, and daily physical exercise on attention control, executive functioning, mindful awareness, self-compassion, and worrying in stressed young adults. *Mindfulness*, 7(5), 1182-1192.
- Díaz, H., Córdova, F., Cañete, L., Palominos, F., Cifuentes, F. & Rivas, G. (2015). Inter-channel correlation in the EEG activity during a cognitive problem solving task with an increasing difficulty questions progression. *Procedia Computer Science*, 55, 1420-1425.
- Díaz, H., Córdova, F., Cañete, L., Palominos, F., Cifuentes, F., Sánchez, C., et al., (2015). Order and chaos in the brain: fractal time series analysis of the EEG activity during a cognitive problem solving task. *Procedia Computer Science*, 55, 1410-1419.
- Díaz, H., Maureira, F., Cohen, E., Córdova, F., Palominos, F., Otárola, J., et al. (2015). Individual differences in the order/chaos balance of the brain self-organization. *Annals of Data Science*, 2(3), 1-18.
- Díaz, H., Maureira, F. & Córdova, F. (2017). Temporal scaling and inter-individual hemispheric asymmetry of chaos estimation from EEG time series. *Procedia Computer Science*, 122, 339-345.
- Díaz, H., Maureira, F. & Córdova, F. (2018). Time series of closed and open eyes EEG conditions reveal differential characteristics in the temporality of linear and non-linear analysis domain. *Procedia Computer Science*, 139, 570-577.
- Díaz, H., Maureira, F., Flores, E. & Córdova, F. (2018). Intra and inter-hemispheric correlations of the order/chaos fluctuation in the brain activity during a motor imagination task. *Procedia Computer Science*, 139, 456-463.
- Hawkes, T., Manselle, W. & Woollacott, M. (2014). Cross-sectional comparison of executive attention function in normally aging long-term t'ai chi, meditation, and aerobic fitness practitioners versus sedentary adults. *J Altern Complement Med*, 20(3), 178-184.
- Hsieh, S., Chang, Y., Fang, C. & Hung, T. (2016). Acute resistance exercise facilitates attention control in adult males without an age-moderating effect. *Journal Sport Exercise Psychology*, 38(3), 247-254.
- Iuliano, E., di Cagno, A., Aquino, G., Fiorilli, G., Mignogna, P., Calcagno, G., et al. (2015). Effects of different types of physical activity on the cognitive functions and attention in older people: A randomized controlled study. *Experimental Gerontology*, 70, 105-110.

- Kale, M. & Butar, F. (2011). Fractal analysis of time series and distribution properties of Hurst exponent. *Journal of Mathematical Sciences and Mathematics Education*, 5, 8-19.
- León-Carrión J. (1995). *Manual de neuropsicología humana*. Madrid: siglo XXI.
- Liu-Ambrose, T., Nagamatsu, L., Graf, P., Beattie, B., Ashe, M. & Handy, T. (2010). Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial. *Arch Intern Med*, 170(2), 170-178.
- Llorens, F., Sanabria, D. & Huertas, F. (2015). The influence of acute intense exercise on exogenous spatial attention depends on physical fitness level. *Experimental Psychology*, 62(1), 20-29.
- Ludyga, S., Gronwald, T. & Hottenrott, K. (2016). Effects of high vs. low cadence training on cyclists' brain cortical activity during exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(4), 342-347.
- Maureira, F. (2016a). Plasticidad sináptica, BDNF y ejercicio físico. *EmásF, Revista Digital de Educación Física*, 7(40), 51-63.
- Maureira, F. (2016b) *¿Qué es la inteligencia?* Madrid: Bubok Publishing.
- Maureira, F. (2018). *Principios de neuroeducación física*. Madrid: Bubok Publishing.
- Nanda, B., Balde, J. & Manjunatha, S. (2013). The acute effects of a single bout of moderate-intensity aerobic exercise on cognitive functions in healthy adult males. *J Clin Diagn Res*, 7(9), 1883-1885.
- Nouchi, R., Taki, Y., Takeuchi, H., Hashizume, H., Nozawa, T., Sekiguchi, A., et al. (2012). Beneficial effects of short-term combination exercise training on diverse cognitive functions in healthy older people: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 13, 200.
- O'Malley, G. (2011). Aerobic exercise enhances executive function and academic achievement in sedentary, overweight children aged 7-11 years. *J Physiother*, 57(4), 255.
- Orozco, G., Anaya, M., Vite, J. & García, M. (2016). Cognición, actividades de la vida diaria y variables psicológicas en mujeres adultas mayores practicantes de Tai Chi Chuan. *RETOS*, 30, 222-225.
- Pikovsky, A., Rosenblum, M. & Kurths, J. (2001). *Synchronization: a universal concept in nonlinear sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Plunzevic, J., Manchevska, S. & Bozhinovska, L. (2010). Psychomotor speed in young adults with different level of physical activity. *Med Arh*, 64(3), 139-143.
- Portnova, G. & Atanov, M. (2016). Age-dependent changes of the EEG data: comparative study of correlation dimension D2, spectral analysis, peak alpha frequency and stability of rhythms. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 4(2), 56-61.
- Reigal, R. & Hernández-Mendo, A. (2014). Efectos de un programa cognitivo-motriz sobre la función ejecutiva en una muestra de personas mayores. *RYCIDE, Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 10(37), 206-220.
- Rosa, A., García, E. & Carrillo, P. (2019). Relación entre capacidad aeróbica y el nivel de atención en escolares de primaria. *RETOS*, 35, 36-41.
- Salisbury, D. (1990). Cognitive psychology and its implications for designing drill and practice programs for computers. *Journal of Computer-Based Instruction*, 17(1), 23-30.
- Talamillo, T. (2011). Manual básico para enfermeros en electroencefalografía. *Enfermería Docente*, 94, 29-33.
- Tine, M. (2014). Acute aerobic exercise: an intervention for the selective visual attention and reading comprehension of low-income adolescents. *Frontiers in Psychology*, 5, 575.
- Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T., et al. (2016). Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise. *Physiol Behav*, 155, 224-230
- Van het Reve, E. & De Bruin, E. (2014). Strength-balance supplemented with computerized cognitive training to improve dual task gait and divided attention in older adults: a multicenter randomized-controlled trial. *BMC Geriatrics*, 14, 134.
- Wilmore, J. & Costill, D. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona: Paidotribo.

